Aditivos para Concreto

Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central

Associado ao Instituto Brasileiro de Impermeabilização

Apresentação

Esta 1ª edição do Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central foi elaborado por uma equipe técnica designada pelo IBI através da Câmara de Aditivos e tem como proposta disponibilizar informações aos usuários e outros especialistas na utilização de aditivos para concreto.

Este manual não exime a obrigação de se observar as normas técnicas e legislações pertinentes. Apesar de ter sido preparado com um cuidado meticuloso, o IBI não assume qualquer responsabilidade pela exatidão das informações, notas, sugestões ou erros de impressão. Nenhuma reclamação pode ser feita contra o IBI ou os autores.

Índice

1 Definição de aditivo

Aditivos são produtos químicos, usados na composição do concreto e/ou argamassa, adicionados à massa imediatamente antes ou durante a mistura, com o objetivo de melhorar as suas características tanto no estado fresco como no estado endurecido.
Nesta cartilha, trataremos a utilização dos aditivos químicos para concreto, sendo, no entanto, aplicáveis às argamassas.
Segundo a NBR 11768 (ABNT 2011), aditivo é o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5 % da massa de material cimentício contida no mesmo, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido. Para o caso de concreto projetado, a dosagem pode ser superior a 5%.
Os aditivos químicos atuam freqüentemente nas propriedades reológicas do concreto e alteram as reações de hidratação do cimento: melhoram a trabalhabilidade, modificam a viscosidade, atuam na retenção de água, aceleram ou retardam o tempo de pega, controlam o desenvolvimento de resistências mecânicas, intensificam a resistência à ação do congelamento, diminuem a fissuração térmica, atenuam as conseqüências do ataque por sulfatos, reação álcali-agregado e corrosão de armadura, entre outras propriedades.
A efetividade de cada aditivo pode variar dependendo de sua concentração no concreto, tipo de material cimentício, temperatura ambiente e dos materiais constituintes do concreto, energia de mistura, tempo de adição e variação dos constituintes dos mesmos. Além do efeito principal, os aditivos podem apresentar algum efeito secundário, modificando certas propriedades no concreto.

2 Tipos de aditivos

A norma NBR 11768 (ABNT, 2011) classifica os aditivos como:

- **Aditivo redutor de água / plastificante:** aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite a redução do conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento ou fluidez; ou, ainda, aditivo que produz os dois efeitos simultaneamente. Podem apresentar funções secundárias de retardo de pega (plastificante retardador – PR) e aceleração de pega (plastificante acelerador – PA), ou não possuir função secundária sobre a pega (plastificante – PN).
- **Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo I:** aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite elevada redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Podem apresentar funções secundárias de retardo de pega (superplastificante tipo I retardador – SPI-R) e aceleração de pega (superplastificante tipo I acelerador – SPI-A), ou não possuir função secundária sobre a pega (superplastificante tipo I – SPI-N).
- **Aditivo de alta redução de água/ superplastificante tipo II:** aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite uma elevadíssima redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Podem apresentar funções secundárias de retardo de pega (superplastificante tipo II retardador – SPII-R) e aceleração de pega (superplastificante tipo II acelerador – SPII-A), ou não possuir função secundária sobre a pega (superplastificante tipo II – SPII-N).
- **Aditivo incorporador de ar (IA):** aditivo que permite incorporação, durante o amassamento do concreto, uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar, uniformemente distribuídas, que permanecem no material no estado endurecido.
- **Aditivo acelerador de pega (AP):** aditivo que diminui o tempo de transição do concreto do estado plástico para o estado endurecido.
- **Aditivo acelerador de resistência (AR):** aditivo que aumenta a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto, com ou sem modificação do tempo de pega.
- **Aditivo retardador de pega (RP):** aditivo que aumenta o tempo de transição do concreto do estado plástico para o estado endurecido.

Outras nomenclaturas usuais no mercado:

- **Aditivos polifuncionais/multifuncionais:** são aditivos químicos redutores de água/plastificantes, que permitem dosagens superiores aos plastificantes convencionais, conferindo maior trabalhabilidade e/ou redução de água.

- **Hiperplastificantes:** são aditivos definidos na NBR 11768 (ABNT, 2011) - Aditivo de alta redução de água/ superplastificante Tipo II.

Além dos aditivos classificados pela norma NBR 11768 (ABNT, 2011), existem outros chamados de aditivos especiais, utilizados em casos mais específicos. Seguem alguns exemplos:

- Aditivos modificadores de viscosidade;
- Aditivos inibidores de corrosão;
- Aditivos redutores de permeabilidade capilar;
- Aditivos retentores de água;
- Aditivos aceleradores para concreto projetado;
- Aditivos redutores de reação álcali-agregado;
- Aditivos para preparação de concreto extrusado e vibro-prensado;
- Aditivos controladores de hidratação;
- Aditivos expansores.
- Aditivos redutores e compensadores de retração por secagem;

Os primeiros aditivos redutores de água desenvolvidos, chamados de plastificantes, apresentam uma capacidade de redução de água > 5% com relação ao concreto sem aditivo. Com o avanço da indústria química surgiu a primeira geração de aditivos redutores de água de alta eficiência, os classificados como superplastificantes tipo I, que permitem maior redução da quantidade de água > 12 %, e podem ser utilizados em dosagens mais elevadas sem comprometer significativamente a hidratação do cimento.

A última geração de aditivos superplastificantes são os classificados de superplastificantes tipo II. Dentre outras vantagens, oferecem altas taxas de redução de água > 20% e, dependendo das características da base química do aditivo e a dosagem utilizada, oferecem grande manutenção de trabalhabilidade, sem o comprometimento de pega e até favorecendo significativamente as resistências mecânicas.

De forma resumida, pode-se dizer que a adição de plastificantes e superplastificantes confere as seguintes características ao concreto:

- Aumento de consistência: a fluidez do concreto é aumentada sem a adição de mais água;
- Aumento da resistência à compressão: mantendo fixa a consistência do concreto, é possível reduzir consumo de água e manter o consumo de cimento constante (aumentando as resistências mecânicas);
- Diminuição do consumo de cimento: mantendo fixa a consistência do concreto, é possível reduzir consumo de cimento e água (com a mesma consistência).

Nesta cartilha, serão abordados os assuntos relacionados aos aditivos químicos líquidos, que são os mais usuais em concreto.

3 Ensaios de caracterização dos aditivos

A uniformidade na composição dos aditivos desempenha um importante papel na minimização de variações na produção de concreto. Quando um aditivo é produzido, as características físicas e químicas principais de cada lote são checadas, a fim de que se enquadrem sempre dentro de uma faixa de especificação, que varia de produto para produto.
Os ensaios listados abaixo, definidos pela norma NBR 10908 (ABNT, 2008), garantem um padrão ou uniformidade entre os lotes do produto, sendo ele líquido, sólido ou pastoso:

- Determinação do pH;
- Determinação do teor de sólidos;
- Determinação da massa específica;
- Determinação de cloretos;
- Análise no infravermelho para verificação de homogeneidade do aditivo (opcional).

As amostras para testes de inspeção em obra ou central de concreto devem ser coletadas aleatoriamente na planta de produção, a partir das embalagens fechadas (tambores, bombonas ou containeres) ou no caminhão-tanque durante o recebimento. É importante também que o material seja pré-homogeneizado antes da amostragem e análise, pois alguns tipos de aditivos líquidos são veiculados em forma de suspensão. Recomenda-se também que a embalagem de coleta e alocação da amostra esteja limpa, evitando qualquer tipo de contaminação que possa interferir na análise. Este assunto é abordado com mais detalhes no Capítulo 7.

4 Cálculo da dosagem do aditivo sobre o peso de cimento

Costuma-se denotar o consumo de um aditivo em um traço de concreto em termos de sua massa sobre a massa de cimento. Vale ressaltar que quando o concreto for composto por outros aglomerantes hidráulicos (adições) além do cimento, o cálculo da dosagem do aditivo deverá ser sobre a soma das massas de cimento e adição. Este número, em percentual, corresponde a "dosagem" do aditivo, comumente chamada de "dosagem percentual sobre o peso de cimento", ou "dosagem em % s.p.c.", conforme fórmula abaixo:

Equação 1

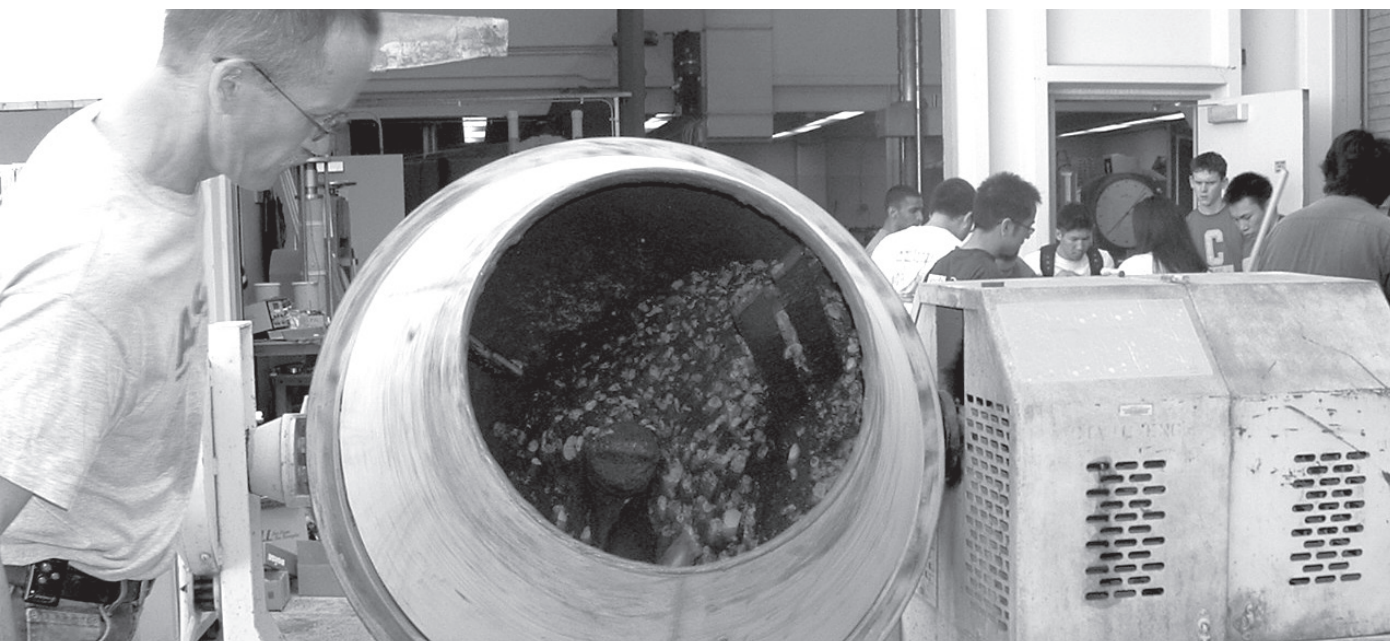
$$\text{Dosagem (\% s.p.c.)} = \frac{\text{massa do aditivo (kg)} \times 100}{\text{massa do cimento (kg)}}$$

Caso se queira trabalhar com o aditivo em volume, faz-se necessário saber a sua massa específica:

Equação 2

$$\text{Dosagem (\% s.p.c.)} = \frac{[\text{massa específica (kg / } \ell \text{)}] \times [\text{volume do aditivo (} \ell \text{)}] \times 100}{\text{massa do cimento (kg)}}$$

Sendo:
1kg/l= 1g/cm3 = 1g/ml

5 Seleção dos aditivos e sua compatibilidade no concreto

Como já mencionado, os aditivos conferem uma série de propriedades benéficas ao concreto. Estas propriedades dependem das interações que acontecem entre os aditivos e os materiais que compõem o mesmo. O tipo e duração das interações entre aditivo e materiais, como por exemplo o cimento pode influenciar nas propriedades física e química do concreto, como demanda de água, velocidade de hidratação, tempos de início e fim de pega, resistência mecânica e durabilidade.

De maneira prática, o desempenho do aditivo depende de fatores como:

- Cimento: tipo, marca, lote, local de fabricação, consumo (por m3) ;
- Adições: tipo e consumo (por m3) quando houver;
- Água: qualidade de acordo com a NBR 15900 (ABNT, 2009), consumo (por m3);
- Agregados: forma, tipo (natural ou artificial), granulometria e proporções;
- Presença de outros aditivos;
- Tempo e seqüência de mistura do concreto;
- Temperatura e umidade relativa do ar (ambientes);
- Temperatura dos materiais do concreto;
- Temperatura do concreto após a mistura;
- Consistência inicial do concreto (sem aditivo).

Testes comparativos entre aditivos devem ser realizados, partindo das mesmas condições de ensaio.

Tanto a relação a/c (razão entre a massa de água e massa de cimento no traço de concreto) como consistência podem ser fixados:

a) avalia-se a variação da consistência inicial com a relação a/c fixa, ou;

b) avalia-se a variação da água de amassamento (variação da relação a/c), fixando-se a consistência inicial desejada.

Normalmente o comportamento de aditivos para concreto e argamassas é estudado primeiramente em laboratório, para depois ser avaliado em campo. Os ensaios prévios de laboratório, além de simular o comportamento em campo (adotando as mesmas condições de temperatura e umidade, quando possível), são úteis para definir o "ponto ótimo" do aditivo, ou seja, a dosagem mais adequada apara atender uma especificação.

A dosagem ótima de aditivo (ou dos aditivos, quando se usa mais que um), pode ser definida através de alguns métodos realizados em pasta de cimento, como funil de Marsh segundo NBR 7682 (ABNT, 1983) e ensaio miniabatimento de Kantro (AÏTICIN, 2000b apud KANTRO, 1980). Para ensaio em concreto é sugerida a metodologia a seguir:

1. Adotar sempre que possível um traço referência. Na ausência dele, adotar dois pontos na curva de relação a/c.
   - Para aditivos plastificantes/ polifuncionais: adotar dois traços (fck 20 e fck 30), com utilização de brita 1 e abatimento 100mm;
   - Para aditivos superplastificantes: adotar consumo de cimento superior a 350 kg/m3 e abatimento desejado;
2. Ajustar a primeira dosagem com 100% da água de amassamento para o abatimento desejado (para abatimento inferior a 260 mm), segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Fixar o abatimento determinado nesta etapa para todos os ensaios subseqüentes;
3. Realizar ensaios subseqüentes com variações de dosagem de aditivo, construindo uma curva com 4 a 6 pontos, considerando os extremos a faixa de dosagem do aditivo recomendada pelo fabricante e intercalando os pontos médios interno. Para cada dosagem de aditivo, ajustar a relação a/c de modo que o abatimento esteja fixo no valor determinado na etapa 2. Por exemplo, à medida que a dosagem do aditivo é aumentada, há a tendência é reduzir a água do amassamento, mantendo o abatimento em valor fixo;
4. Para cada dosagem de aditivo, realizar a verificação da perda de abatimento, que mede a manutenção de trabalhabilidade ao longo do tempo, segundo a NBR 10342 (ABNT, 2012);
5. Moldar corpos de prova para determinação da resistência à compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007).

O ponto ótimo do aditivo é alcançado na condição onde houve maior redução de água de amassamento e maior ganho de resistências mecânicas na idade desejada.
Outros aspectos devem ser observados, como as seguintes propriedades básicas do concreto fresco e endurecido:

- Viscosidade;
- Coesão;
- Incorporação de ar;
- Tempos de início e fim de pega;
- Segregação;
- Exsudação;
- Outras determinações de resistências mecânicas;

Outros ensaios podem ser realizados, dependendo da necessidade.

Além dos testes de laboratório, é de grande importância a realização de um teste de campo, para confirmação das propriedades requeridas, como: consistência, bombeabilidade, adensamento, acabamento, dentre outros.
O uso de aditivos promove normalmente uma melhora na qualidade do concreto, mas não é capaz de compensar as variações dos materiais, dosagem dos componentes do concreto e procedimentos inadequados. Por isso, deve-se ter em mente que nenhum aditivo, em qualquer quantidade, deve ser considerado um substituto para as boas práticas de confecção de concreto.

Compatibilidade aditivo-concreto

Quando se utiliza o aditivo em um mistura de concreto, podem ocorrer problemas de incompatibilidade com determinados lotes e/ou entregas dos materiais que compõem o concreto, mesmo que os aditivos estejam perfeitamente dentro das especificações. Estes problemas de incompatibilidade dependem das interações que acontecem entre os aditivos e os materiais que compõem o concreto, com destaque para o cimento e adições. Como resultado, a incompatibilidade pode gerar: perda rápida de trabalhabilidade, aceleração ou retardo de pega excessivos, incorporação excessiva de ar, alteração no ganho de resistências mecânicas, etc.

A tabela abaixo (Tabela 1) exemplifica alguns problemas que podem ser encontrados no concreto fresco:

	Menor redução de água que o esperado	Perda acelerada de abatimento	Menor tempo de pega que o esperado	Maior tempo de pega que o esperado	Excessiva incorporação de ar	Segregação
Variação na composição química do cimento	x	x	x	x	x	
Aumento da finura do cimento	x	x	x			
Variação das características dos agregados	x	x			x	x
Variação na proporção dos agregado	x	x			x	x
Materiais de elevada temperatura	x	x	x			
Aumento da temperatura ambiente	x	x	x			
Diminuição da temperatura ambiente				x		
Quantidade insuficiente de aditivo	x	x	x			
Excesso de aditivo				x	x	x

O uso de outras adições (cinza volante, escória, sílica ativa, metacaulim), fibras e uso de dois ou mais aditivos em uma única mistura devem ser avaliados no laboratório antes da sua utilização.
Além de consultar os fornecedores dos materiais, é importante que se mantenham lotes de retenção de aditivos e cimento em quantidades suficientes para ensaios, por um determinado período, a fim de se detectar a causa do problema de incompatibilidade quando ele ocorrer.
Caso seja possível, é recomendável a manutenção de lotes de retenção também dos agregados e adições, que eventualmente podem gerar incompatibilidade.
Seguem sugestões de quantidades mínimas para retenção (Tabela 2):

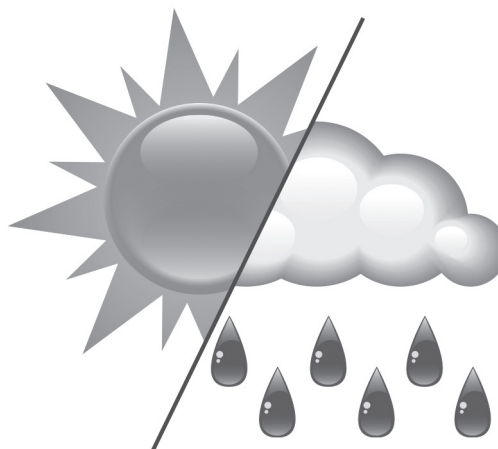
Material	Quantidade a ser retida
Cimento/ Adição	20 kg
Aditivo	500 ml

Critérios de ensaio dos aditivos no concreto

Recomenda-se a realização de ensaios do concreto em laboratório segundo a NBR 12821 (ABNT, 2009) e NBR NM 33 (ABNT, 1998), avaliando as seguintes características:

- Consistência segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998) ou NBR NM 68 (ABNT, 1998), espalhamento e tempo de escoamento pelo método NBR 15823-2 (ABNT, 2010), fixando a relação a/c;
- Perda de abatimento segundo a NBR 10342 (ABNT, 2012);
- Determinação do teor de ar incorporado segundo a NBR NM 47 (ABNT, 2002) e massa específica em concreto fresco segundo a NBR 9833 (ABNT, 2009);
- Tempos de início e fim de pega segundo a NBR NM 9 (ABNT, 2003);
- Resistência à segregação segundo a NBR 15823-6 (ABNT, 2012) para concreto autoadensável e avaliação visual para concreto convencional;
- Exsudação segundo a NBR 15558 (ABNT, 2008);
- Resistências mecânicas segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR 8522 (ABNT, 2008);
- Ensaios relacionados à durabilidade: absorção de água, índice de vazios e massa específica no concreto endurecido segundo a NBR 9778 (ABNT, 2005) absorção de água por capilaridade segundo a NBR 9779 (ABNT, 2012) compacidade por ultrassom segundo a NBR 8802 (ABNT, 2013), entre outros.

Para a avaliação de alterações nos tempos de pega, pode-se realizar alternativamente um teste mais rápido em pasta de cimento, através da elevação adiabática da temperatura segundo a NBR 12819 (ABNT, 2012) ou método similar.

6 Fatores climáticos frente à dosagem

O concreto já curado apresenta boa resistência aos efeitos climáticos. No entanto, durante a fase plástica e nas primeiras idades, o concreto tem suas características e propriedades fortemente alteradas por condições climáticas adversas, nas quais o frio, o calor, o vento e a umidade do ar podem produzir efeitos indesejáveis. Entre estes efeitos, pode haver alterações de tempo de pega, evolução da resistência superficial e taxa de evaporação de água, além do aumento do potencial de fissuração por retração. Problemas em concretagens devido às condições adversas de clima podem ocorrer em qualquer estação do ano, seja no verão (elevada temperatura) e inverno (baixa temperatura), bem como variações de umidade relativa do ar e intensidade do vento, dependendo das condições climáticas de cada região do país.

Recomenda-se que a construtora, o fornecedor de concreto e o projetista se reúnam para definir claramente os termos e condições para a concretagem nestas condições.

É importante estar ciente que o efeito e a eficiência esperados para um aditivo podem ser mascarados por alterações climáticas; em outras palavras, o efeito desejado pode ser alterado não por falta de eficiência do aditivo, e sim por variações de temperatura, umidade e vento, que interferem fortemente nas características do concreto. Entretanto, existem medidas que podem ser adotadas para o controle dos efeitos indesejáveis, além da utilização de um aditivo químico mais adequado às novas situações.

Concretagem em tempo quente

Os problemas causados por concretagem sob altas temperaturas podem ocorrer em qualquer época do ano em climas tropicais e áridos, mas geralmente são intensificados durante a temporada de verão.

O concreto pode ser aplicado em climas quentes quando são tomadas algumas medidas de precaução com relação à dosagem, produção, transporte, lançamento, adensamento e cura. Como parte destas precauções, ações devem ser tomadas para manutenção da temperatura do concreto dentro dos limites recomendados (16ºC a 28ºC).

Devem-se considerar dois fatores que influenciam o concreto no calor:

a) Meio externo (insolação, calor, vento e umidade relativa do ar, etc.);

b) Componentes do concreto (tipo de cimento, temperatura dos materiais, adições, aditivos químicos, etc.).

Efeitos no estado plástico

A concretagem em tempo quente pode gerar muitos problemas ao concreto em seu estado plástico que podem acarretar em efeitos adversos sobre as suas propriedades e vida útil. Os principais problemas encontrados são:

- Aumento da demanda de água;
- Maior perda de abatimento (trabalhabilidade);
- Redução dos tempos de pega;
- Dificuldades de lançamento, retrabalho, adensamento e acabamento do concreto;
- Aumento da tendência da retração plástica, ocasionando fissuras;
- Maior dificuldade no controle do conteúdo de ar incorporado;
- Necessidade de antecipação da fase de cura;

Efeitos no estado endurecido

A concretagem em tempo quente pode também gerar problemas ao concreto em seu estado endurecido. Os principais problemas que podem ser potencializados são:

- Maior tendência de retração por secagem e fissuração;
- Maior ocorrência de porosidade;
- Redução da resistência à compressão axial e à tração na flexão, devido ao aumento da demanda de água de amassamento;
- Redução da durabilidade;
- Aumento da permeabilidade;
- Menor uniformidade da aparência superficial;

Meios de controle

Concretos com temperatura acima de 28ºC e com elevada evaporação da água de amassamento são condições comuns em climas quentes, e como já mencionado, afetam negativamente sua qualidade.

A temperatura do concreto no momento da mistura é influenciada por temperatura ambiente, temperatura específica dos materiais e a quantidade de seus ingredientes. Segundo a Portland Cement Association (PCA, 2009), a temperatura aproximada de concreto pode ser calculada a partir da seguinte equação:

(Equação 3)

$$T = \frac{0.22(TaWa + TcWc) + TwWw + TwaWwa}{0.22(Wa + Wc) + Ww + Wwa}$$

Sendo:
T = temperatura do concreto recém-misturado (ºC);
Ta = temperatura dos agregados (ºC);
Tc = temperatura do cimento (ºC);
Tw = temperatura da água de mistura (ºC);
Twa = Temperatura da umidade dos agregados, respectivamente (ºC);
Wa = massa dos agregados (kg);
Wc = massa do cimento (kg);
Ww = massa da água de mistura (kg);
Wwa = massa da água de umidade dos agregados (kg);

Como pode ser visto na equação acima (Equação 3), de todos os componentes do concreto a água é o material que reduz mais facilmente a sua temperatura. Assim, a temperatura do concreto pode ser facilmente reduzida com a adição de água gelada ou gelo. A quantidade de gelo usado deve ser incluída como parte da água de amassamento e não deve exceder o estabelecido na relação a/c.

Existem outras medidas que podem auxiliar no controle da temperatura do concreto no momento da dosagem ou durante o processo de hidratação:

- Aspersão/pulverização de água sobre os agregados;
- Armazenamento dos agregados a sombra (quando possível);
- Utilização de cimento frio;

- Utilização de quebra-ventos;
- Uso de gelo/ nitrogênio líquido;
- Utilização de cimentos com maiores teores de cinzas e escória em sua composição para redução do calor de hidratação;
- Uso de aditivos plastificantes, plastificantes retardadores e superplastificantes retardadores;

O uso de aditivos químicos pode auxiliar na redução dos efeitos indesejáveis causados por climas quentes da seguinte maneira:

- Redução da demanda de água de no mínimo 5%: o uso de aditivos que reduzam a água de amassamento em pelo menos 5% possibilita a posterior redução do consumo de cimento e, conseqüentemente, a diminuição do calor liberado durante a hidratação;
- Melhoria da manutenção da trabalhabilidade durante a aplicação;
- Retardo dos tempos de pega;
- Redução da taxa de calor de hidratação;

Os aditivos químicos podem ter seu desempenho modificado quando há alteração significativa da faixa de temperatura usual, havendo necessidade de aumento de dosagem, redosagem ou substituição do mesmo por outro mais adequado às novas condições.

Algumas medidas antes, durante e depois da execução do concreto podem auxiliar no controle da temperatura do mesmo:

- Estudos prévios dos materiais e traços a serem utilizados;
- Elaboração de um plano de concretagem;
- Concretagem noturna, quando possível;
- Lançamento do concreto em camadas, cuja altura seja suficiente para permitir uma vibração adequada;
- Aplicação de cura úmida durante os primeiros 7 dias;
- Aplicação de cura química;
- Utilização de barreiras de quebra-vento.

Concretagem em tempo frio

Os problemas causados por concretagem sob baixas temperaturas podem ocorrer em qualquer época do ano em climas temperados, porém são intensificados durante o inverno, especialmente nas regiões sudeste e sul do Brasil. Segundo a Portland Cement Association (PCA, 2003), baixas temperaturas retardam a hidratação do cimento e conseqüentemente, seu endurecimento e desenvolvimento de resistências.

O tempo frio é definido como um período em que, por mais de 3 dias consecutivos, têm-se as seguintes condições:

- A temperatura do ar média diária é inferior a 5ºC e;
- A temperatura do ar não for superior a 10ºC por mais de metade do período de 24 horas.

A temperatura do ar média é a média das temperaturas mais alta e a mais baixa que ocorrem durante o período da meia-noite a meia-noite.

Analogamente a concretagem sob clima quente, o concreto pode ser aplicado em climas frios tomando algumas medidas de precaução com relação à dosagem, produção, transporte, lançamento, adensamento e cura. Como parte destas precauções, ações também devem ser tomadas para manter temperatura do concreto dentro dos limites recomendados (16ºC a 28ºC).

Devem-se considerar dois fatores que influenciam o concreto no frio:

a) Meio externo (frio, vento e umidade relativa do ar, etc.);
b) Componentes do concreto (tipo e finura do cimento, temperatura dos materiais, adições, aditivos químicos, água, etc.).

Efeitos no estado plástico

A concretagem em tempo frio também pode gerar alguns problemas para seu estado plástico que podem acarretar em efeitos sobre as suas propriedades e vida útil. As principais conseqüências, principalmente quando sob temperaturas inferiores a 16ºC são:

- Retardo de início e fim de pega;
- Retardo no acabamento superficial do concreto;
- Perda de água de amassamento, principalmente com condições de baixa temperatura, baixa umidade relativa do ar e elevada velocidade do vento, causando fissuras por retração plástica;
- Atraso do início da cura do concreto (devido ao retardo da pega), podendo acarretar problemas de retração plástica e secagem e perda de resistência superficial (abrasão);

- Aumento da tendência de ocorrência de fissuras, devido ao concreto não ganhar resistência inicial suficiente para fazer frente às tensões relacionadas às reações de hidratação do cimento;
- Endurecimento mais lento da camada inferior comparado à camada superficial em concretagens sobre sub-bases frias;
- Em pisos industriais e lajes com formas plastificadas ou metálicas, a face inferior do concreto acaba tendo velocidade inferior de endurecimento com relação à superfície exposta: além da temperatura menor (causada pela baixa temperatura da base), não ocorre a perda de água pela face inferior. A face superior, por estar sujeita a uma temperatura ambiente mais elevada e apresentando uma maior taxa de água de exsudação (com posterior perda por evaporação), resseca-se e endurece mais rápido que o restante, apresentando um aspecto "borrachudo".

Efeitos no estado endurecido

A concretagem em tempo frio pode gerar principalmente o problema de retardo na evolução das resistências à compressão nas primeiras idades, podendo contribuir com maiores resistências nas idades superiores.

Meios de controle

Como já mencionado concretagens sob baixas temperaturas podem gerar efeitos indesejáveis nas propriedades do concreto. Existem medidas que podem atenuar estes efeitos ou auxiliar no controle da temperatura do concreto no momento da dosagem ou durante o processo de hidratação:
- Evitar danos ao concreto, devido ao congelamento em idades precoces, tais como "geada". Quando houver previsão da ocorrência de geada, devem ser tomadas precauções para proteger o concreto recém lançado do congelamento nas primeiras 24 horas. Tal proteção não garante uma taxa de ganho de resistências mecânicas satisfatória, principalmente caso ocorra um período prolongado de clima frio, porém recomenda-se que seja feita por tempo suficiente até que o ganho de resistências seja adequado;
- Quando o concreto estiver exposto a ciclos de congelamento e descongelamento, a relação a/c deve ser limitada em 0,50 para ciclos moderados e 0,45 para ciclos severos;
- Quando possível, recomenda-se que a temperatura do concreto seja mantida acima dos limites da tabela abaixo (Tabela 3), dependendo da espessura do mesmo:

Tabela 3. Limites de temperatura mínima do concreto em função da espessura.

Dimensão da seção (mm)	Temperatura mínima do concreto (°C)
< 300	13
300 a 900	10
901 a 1.800	7
> 1.800	5

O uso de aditivos químicos pode auxiliar na redução dos efeitos indesejáveis causados por climas frios da seguinte maneira:
- Aceleração das resistências mecânicas nas primeiras idades;
- Aceleração dos tempos de pega;
- Incorporação de ar quando há exposição a ciclos de congelamento e descongelamento através da utilização de aditivos incorporadores de ar, limitado ao máximo de 6% de ar incorporado para concreto do tipo estrutural.

Da mesma maneira que em climas quentes, o desempenho do aditivo pode ser alterado quando o clima local torna-se mais frio. Neste caso, pode ser necessária uma menor dosagem do aditivo ou até sua substituição por outro mais adequado às novas condições.

Para maiores informações, consultar as normas ACI 305R - Hot Weather Concreting e ACI 306R - ACI 306R - Cold Weather Concreting

7 Recomendações para recebimento, amostragem, estocagem e descarte de aditivos

Recebimento

Com relação à documentação

No ato do recebimento do aditivo pelo cliente, o mesmo deve vir acompanhado de:
- Nota Fiscal;
- Certificado de Análise do lote em questão;
- Ficha de Emergência (FE).

A Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ), segundo a NBR 14725-4 (ABNT, 2012), é opcional no ato do envio do produto, porém deve estar disponível pelo fornecedor quando solicitado pelo cliente. Recomenda-se que a FISPQ seja solicitada e mantida em local de fácil acesso para consulta, a fim de que as informações necessárias ao manuseio dos produtos e a segurança das pessoas sejam de conhecimento de todos.
Em caso de fornecimento a granel, o cliente deve realizar a conferência do peso do material declarado na Nota Fiscal e do efetivamente recebido/ descarregado, certificando-se de que o compartimento do caminhão está totalmente vazio.

Com relação à área de descarregamento

A área de descarregamento do produto deve suportar o peso dos caminhões e deve ser isolada e afastada de áreas comuns. Em caso de vazamento o operador dever isolar a área e utilizar o kit de emergência contido no veículo, além de seguir as recomendações da FE. Caso o cliente tenha a equipe de emergência interna, esta deve ser imediatamente informada.
Com relação aos procedimentos executados nesta área, especialmente para o caso de descarregamento do material a granel em especial, recomenda-se:
- Que o operador efetue o aterramento do veículo, coloque o mangote na boca do tanque do mesmo e ligue a bomba de transferência, efetuando um descarregamento de cada vez;
- O controle do nível do tanque de estocagem deve ser supervisionado para não ocorrer transbordamento;
- Caso o operador precise adentrar na caixa de contenção para encaixar o mangote e acionar a bomba, deve atentar-se aos procedimentos de segurança do local, além de portar os Equipamentos de Proteção Individual (EPI`s) necessários;

Amostragem

O aditivo deve manter as suas características tal qual como foi apresentado durante os estudos preliminares no concreto ou argamassa. Para assegurar que os lotes do aditivo subseqüentes sejam exatamente iguais à amostra de aditivo aprovada, basta compará-los através das amostragens dos novos lotes com o de referência. Os aditivos deverão ser amostrados durante o recebimento das entregas.

Amostragem do aditivo durante o recebimento

Para amostragem do material a granel (caminhão-tanque), após os procedimentos de recebimento deve-se:

- Coletar uma amostra pelo lado de cima do tanque e a uma profundidade entre 1,0 - 1,5m;
- Utilizar embalagem apropriada para coleta e armazenamento da amostra, limpa e sem uso anterior;
- Reter pelo menos 500 ml da amostra;
- Identificar com o número da Nota Fiscal, número do lote de fabricação, data e local da coleta.

Para amostragem de embalagens fechadas (containeres, tambores e bombonas plásticas):

- Homogeneizar previamente e coletar uma amostra entre 40 a 50% da altura da embalagem;
- Utilizar embalagem apropriada para coleta e armazenamento da amostra, limpa e sem uso anterior;
- Reter pelo menos 500 ml da amostra;
- Identificar com o número da Nota Fiscal, número do lote de fabricação, data e local da coleta.

Nota: o prazo máximo de validade das amostras é o mesmo que o prazo de validade do produto (descrito na Ficha Técnica), quando armazenado em condições adequadas.

Estocagem

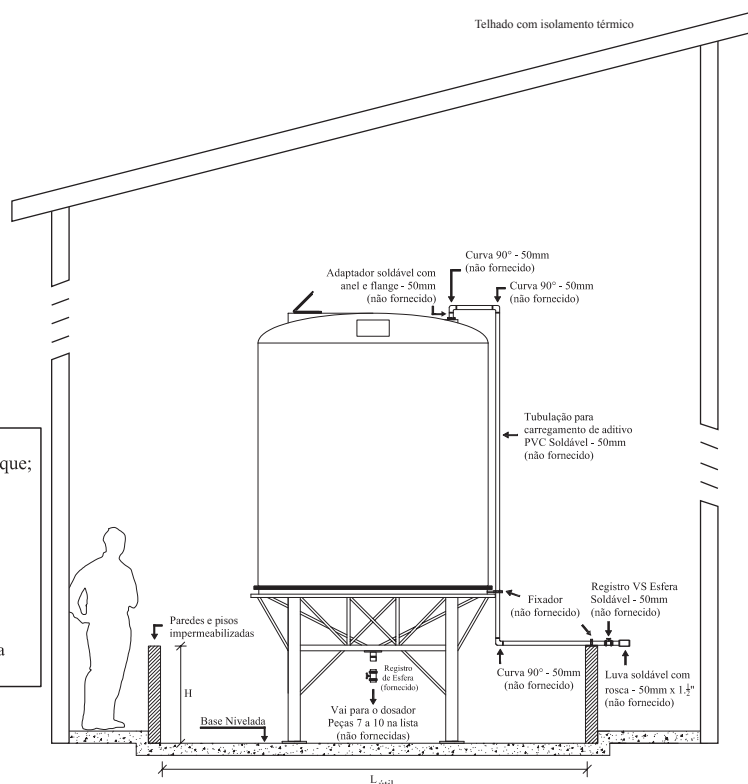
Estocagem do aditivo a granel: reservatórios

Volume do Tanque	Dimensões das paredes	
	H (m)	L útil (m)
6.000 L	1,15	2,50
12.500 L	1,15	3,40

Características do Tanque:
- Fabricado em polietleno de média densidade linear;
- Tampa de 580mm com dobradiça e posicionada na lateral;
- Não possui emendas;
- Átoxico;
- Facilidade de limpeza;
- Acompanha graduação de nível (aproximada);
- Acompanha registro de 2" - Viton.

Lista de Materiais Adicionais:
1. Tubo Soldável 50mm: comprimento variável de acordo com modelo do tanque;
2. Adaptador Soldável com flange e anel - 50mm: 1 unidade;
3. Curva 90º Soldável - 50mm: 3 unidades ;
4. Luva Soldável com rosca 50mm x 1.½": 1 unidade ;
5. Registro VS Esfera Soldável 50mm: 1 unidade;
6. Fixador para tubulação com abraçadeira: 2 unidades ;
7. Bucha de redução roscável (linha branca) 2" x 1": 1 unidade ;
8. Adaptador com rosca 1" para mangueira ¾": 1 unidade ;
9. Abraçadeira para mangueira ¾": 1 unidade ;
10. Mangueira cristal trançada ¾"x2,5: comprimento variável de acordo com distância entre o tanque e o dosador.

Telhado com isolamento térmico
Adaptador soldável com anel e flange - 50mm (não fornecido)
Curva 90° - 50mm (não fornecido)
Curva 90° - 50mm (não fornecido)
Tubulação para carregamento de aditivo PVC Soldável - 50mm (não fornecido)
Fixador (não fornecido)
Registro VS Esfera Soldável - 50mm (não fornecido)
Paredes e pisos impermeabilizadas
H
Registro de Esfera (fornecido)
Vai para o dosador Peças 7 a 10 na lista (não fornecidas)
Base Nivelada
Curva 90° - 50mm (não fornecido)
Luva soldável com rosca - 50mm x 1.½" (não fornecido)
$L_{útil}$

Nota: Avaliar junto ao fabricante das tubulações, registros e conexões a resistência química frete aos aditivos

Tipos

No mercado existem reservatórios de diversas capacidades. O mais adequado é aquele que atenda a demanda da central de concreto ou canteiro de obra, e que permita manter a atividade plena (reserva) até o próximo carregamento. O tamanho compatível é o que permite trabalhar até 40 dias, para regiões próximas e de fácil acesso, e até 90 dias para locais mais distantes.

Quanto ao formato do fundo dos reservatórios, recomendam-se aqueles que possuam fundo cônico e os de fundo chato devem ser evitados.

Layout de instalação

Quanto ao layout das instalações dos reservatórios, alguns pontos devem ser observados:

- Os reservatórios devem ser instalados em área de fácil acesso para manutenção e descarga do produto, e deve ser coberto e protegido de incidência direta de intempéries (luz do sol e chuva);
- A localização dos reservatórios deve estar o mais próximo possível da central dosadora ou misturador, a fim de se evitar longas linhas de tubulação do aditivo;
- A instalação deve estar distante de córregos, vias públicas e áreas permeáveis;
- O distanciamento entre tanques, às áreas vizinhas, às áreas de circulação e à comunidade, devem ser observados de modo a cumprir o estabelecido pela legislação local vigente;
- A caixa de contenção (de derramamentos) deve ser impermeabilizada adequadamente e deve comportar um vazamento de até 110% do volume de cada tanque;
- O local deve ser coberto e com alvenarias de vedação, de forma a proteger os aditivos contra o frio e o calor excessivo.
- Para alguns aditivos, devem ser observados junto ao fabricante da tubulação a compatibilidade química com os aditivos.

Limpeza

A limpeza do reservatório deverá ser realizada de forma periódica conforme estabelecido pelo usuário, entretanto não superior a 12 meses na periodicidade, a fim da qualidade do produto não ser comprometida.

O resíduo de lavagem gerado (água de lavagem e borra) deve ser descartado como resíduo químico.

Produto armazenado

A identificação correta do reservatório com o nome comercial e tipo do aditivo armazenado é importante para evitar misturas de produtos, tanto para o recebimento de um novo lote quanto para utilização na central de concreto.

A escala de nível adesivada no reservatório é apenas orientativa, pois o material que compõe o reservatório é deformável e não garante uniformidade das paredes, comprometendo assim a leitura do volume real de produto.

A fim de se ter um material homogêneo antes do uso, torna-se necessária a instalação de um sistema de recirculação afogada, principalmente para os aditivos que são compostos por grandes quantidades de sólidos e para aditivos que permaneçam em repouso por um período superior a 60 dias.

Estocagem do aditivo embalado: containeres, tambores e bombonas plásticas

Local e modo de armazenamento

Os aditivos adquiridos embalados devem ficar armazenados em local coberto e identificado, ao abrigo de intempéries, frio e calor excessivos e de fácil acesso, além de isolados de tambores de óleo diesel, materiais de limpeza de caminhões/equipamentos, a fim de se evitar troca acidental de materiais.

Deve-se observar que os aditivos têm data de validade e por isso, é mais adequado que os lotes mais antigos localizem-se à frente da utilização.

É recomendável o uso de empilhadeiras ou de plataformas para descargas.

Homogeneização do produto

Para os produtos embalados, a homogeneização do produto pode ser feita através da agitação do líquido com ar comprimido. No caso de tambores e bombonas plásticas, a homogeneização pode ser realizada também através do procedimento de deitar cuidadosamente os recipientes e rolá-los por diversas vezes até atingirem uniformidade.

Descarte

Sempre que o resíduo de aditivo for descartado, as recomendações da FISPQ devem ser seguidas para que a manipulação e transporte do material sejam feitos com segurança. Além disso, a maneira correta de disposição e descarte deve atender as legislações ambientais locais, estaduais ou federais vigentes.

Da mesma maneira, as embalagens não devem ser descartadas como lixo comum ou utilizadas para outros fins, e sim encaminhadas para recuperadoras credenciadas para descarte de acordo com as legislações locais vigentes.

8 Influência dos equipamentos na eficiência do concreto aditivado

Dosagem do aditivo e mistura

Os aditivos para concreto podem ser adicionados (ou dosados) nas centrais dosadoras de concreto ou fábricas de pré-moldados através de dosificadores no início da mistura no ponto de carga, sempre após o contato da água com o cimento. A adição do aditivo (líquido) aos materiais secos nunca deve ser feita.

Alguns aditivos podem ser adicionados ao concreto no momento de sua aplicação, como é o caso de superplastificantes ou incorporadores de ar, que geralmente são dosados na própria obra, após alguns minutos de transporte. Neste caso, recomenda-se o uso de dosadores ou baldes graduados associados a um tubo de PVC de comprimento de 2,50m e diâmetro de 100 mm acoplado com um cotovelo de 45ºC em uma das extremidades.

No momento do carregamento na central de concreto ou misturador, é importante verificar se não há perda de aditivo para fora do equipamento durante a adição do mesmo.

Caso o traço de concreto utilize dois aditivos diferentes, recomenda-se que sejam adicionados separadamente.

Após a adição do aditivo deve-se proceder com a homogeneização da mistura, da seguinte maneira: no caso de aditivos adicionados em caminhão-betoneira, deve-se misturar o concreto em rotação de 14 a 16 rpm e o tempo de mistura de no mínimo 8 minutos, ou de acordo com recomendações do fabricante.

Facas dos misturadores

Alguns cuidados especiais devem ser tomados em relação às facas dos caminhões-betoneira e misturadores, cujo estado de conservação deve ser verificado rotineiramente. As facas possuem um importante papel na qualidade do concreto, e caso estejam desgastadas ou sujas com excesso de concreto endurecido, o produto final não ficará bem misturado (homogêneo).

Calibrações dos equipamentos

Os hidrômetros dos caminhões-betoneira, central, forca (dosador de água), balanças ou medidores volumétricos de aditivos (em casos de pesagem automática de aditivos) devem ser periodicamente calibrados. Hidrômetros fora de calibração por exemplo, podem acabar dosando uma maior ou menor quantidade de água comprometendo a eficiência do aditivo.

9 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL (CAA)

De acordo com a ABNT:NBR 15823:2010, concreto autoadensável é aquele concreto que é capaz de fluir, auto-adensar pelo seu peso próprio, preencher a forma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.
Esse concreto teve origem no Japão no final da década de 80, para suprir a deficiência de mão de obra qualificada nas operações de concretagem, pela sua capacidade de preencher as formas sem a necessidade de vibração.

Para ser classificado como um concreto auto-adensável ele precisa apresentar 03 propriedades básicas (RILEM, 2006):
- habilidade de passar por restrições - habilidade passante;
- habilidade de preencher espaços (formas, armaduras) - fluidez
- resistência à segregação – mantendo-se homogêneo durante todas as etapas de sua aplicação;

Além de cumprir com os requisitos de um concreto usual como resistência mecânica, durabilidade, tempo de aplicação e acabamento superficial.
O CAA é produzido com os materiais de um concreto usual – cimento, agregados, água e aditivos. Porém para melhorar as características acima citadas, empregam-se mais finos na sua formulação e aditivos de grande poder de dispersão, superplastificantes tipo SP II de acordo com a ABNT:NBR 11768:2011.Em alguns casos também podem ser usados aditivos modificadores de viscosidade, para aumentar a viscosidade da mistura.
Os finos (partículas menores que 0,150 mm) usualmente empregados nas misturas são: filer calcareo, cinza volante, metacaulim e sílica ativa.
De acordo com a ABNT:NBR 15823:2010 para cada tipo e classe de concreto auto-adensável a ser lançado em uma estrutura ou elemento estrutural, as propriedades e características requeridas no estado fresco devem ser previamente comprovadas por ensaios. Tais ensaios têm como objetivo classificar o concreto no seu estado fresco e ainda fornecer informações para o controle e aceitação no estado fresco, que são:

1. Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento pelo cone de Abrams (Slump-flow test e t500):

Ensaio para determinação da fluidez do concreto auto adensável, em fluxo livre, sob a ação de seu próprio peso, empregando-se o cone de Abrams (ABNT NBR NM 67), onde o resultado do ensaio é o espalhamento (SF) da massa de concreto, obtido pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro realizadas em milímetros (mm). E ainda, mede-se o t500, cujo resultado é o interva-

lo de tempo, em segundos, entre o início e o final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde (200 mm) até a marca circular de diâmetro 500 mm da placa de base.

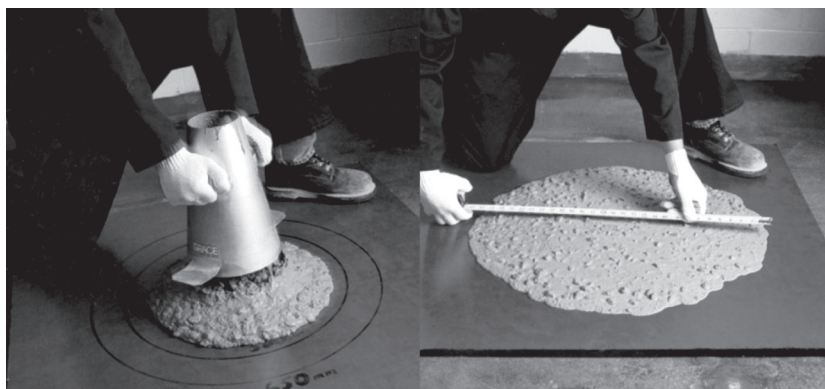



Figura 1 – Ensaio de espalhamento.

2. Determinação da habilidade passante – Método do anel J;

O método também conhecido como Anel J - método de ensaio para determinação da habilidade passante do concreto auto adensável, em fluxo livre. Os materiais são os mesmos do ensaio anterior porém com a utilização de um Anel metálico com barras verticais.

O resultado do ensaio consiste nas seguintes determinações:

- o diâmetro final (dF), atingido pela massa de concreto, por meio da média aritmética de duas medidas (em milímetros) realizadas em direções perpendiculares;
- a diferença entre o diâmetro médio do espalhamento obtido no ensaio do espalhamento (sem o anel J) e neste ensaio (com o anel J);
- obstrução observada à passagem do concreto pelas barras do anel J.

3. Determinação da habilidade passante – Método da caixa-L

Ensaio para a determinação da habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L (caixa com dimensões normatizada – ABNT NBR 15823:2010). Este ensaio consiste em preencher a caixa com concreto (parte vertical), abrir o compartimento, cessado o escoamento, medir as alturas H1 e H2 e calcular a habilidade passante (HP), isto é, a razão entre as alturas da superfície do concreto nas extremidades da câmara horizontal usando a equação a seguir:

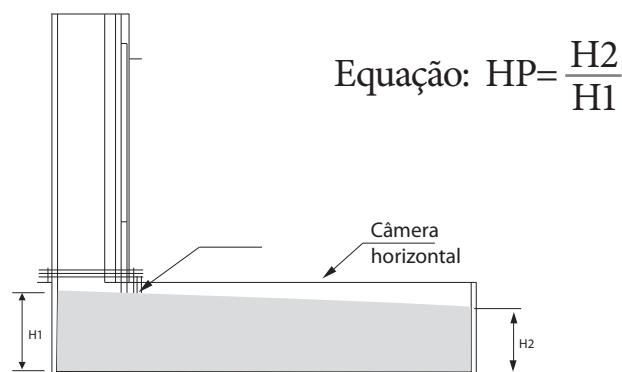



Figura 2 - Ensaio da caixa L.

4. Determinação da viscosidade pelo método do Funil-V;

A determinação da viscosidade do concreto auto adensável é através da medida do tempo de escoamento de uma massa de concreto através do funil V. O ensaio consite em preencher o molde com concreto abrir o compartimento do fundo do funil e medir o tempo de escoamento. Em casos especiais, com solicitação expressa, pode ser efetuada a medida do tempo de escoamento do concreto após 5 min do preenchimento do funil V (T5min).

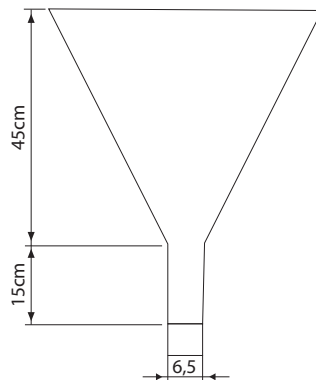



Figura 3 - Funil para ensaio de viscosidade.

5. Determinação da resistência à segregação através da coluna de segregação.
É o ensaio para determinação da resistência à segregação do concreto auto adensável, pela diferença das massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.

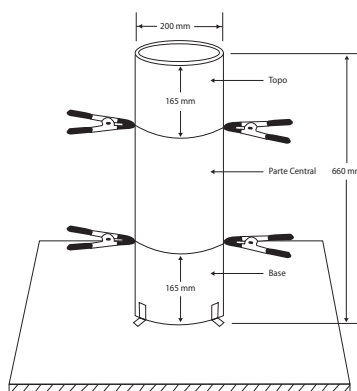



Figura 4 - Coluna para ensaio de segregação

Principais vantagens da utilização de CAA:
1. Acelerar cronograma de construção com lançamento e rápido e eliminação da etapa de vibração;
2. Reduzir mão de obra, pois elimina vibração;
3. Melhora o acabamento superficial das estruturas;
4. Permite trabalhar com formas e dimensões variadas;
5. Permite concretagens de peças com seções reduzidas;
6. Elimina o barulho das vibrações;
7. Permite a utilização em estruturas com elevada taxa de armadura
8. Aumento da durabilidade, pois devido a sua facilidade de acabamento evita a ocorrência de falhas de concretagens;
9. Pode reduzir o custo final da estrutura

Principais aplicações do concreto auto-adensável:
- Concreto pré-moldado ou pré-fabricado;
- Recuperação de estruturas;
- Lajes, pilares e vigas;
- Peças arquitetônicas nas mais variadas formas e dimensões;

NBR 15823 (ABNT, 2010) Tabela 4 – Classes de espalhamento, viscosidade plástica aparente, habilidade passante e resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação.

Propriedades - Ensaios	**Classes**		**Aplicação**	**Exemplo**
Espalhamento (slump-flow) (mm)	SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre. Concreto autoadensável bombeado. Estruturas que exigem um curto espalhamento horizontal do concreto autoadensável.	Lajes, Revestimento de túneis, Estacas e certas fundações profundas.
	SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes.	Paredes, vigas, pilares e outras.
	SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm).	Pilares-parede, Paredes diafragma e Pilares.
Viscosidade plástica aparente t500 (s)/ Funil V (s)	VS 1 / VF 1	≤ 2 ≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	Lajes, paredes diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente.
	VS 2 / VF 2	> 2 9 a 25	Adequado a para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópica que acarreta menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras.
Habilidade passante Anel J (mm) Caixa L (H2/H1)	PL 1 / PJ 1	25 a 50 mm, com 16 barras de aço. ≥ 0,80, com 2 barras de aço.	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes, painéis, elementos de fundação.
	PL 2 / PJ 2	0 a 25 mm, com 16 barras de aço. ≥ 0,80, com 3 barras de aço.	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-moldados.
Resistência à segregação Coluna de segregação (%)	SR 1	≤ 20	Distância a se percorrida < 5 m. Espaçamento entre armaduras > 80 mm.	Lajes de pequena espessura, estruturas convencionais de pouca complexidade.
	SR 2	≤ 15	Distância a se percorrida > 5 m. Espaçamento entre armaduras > 80 mm.	Elementos de fundações profundas, Pilares, paredes, elementos estruturais complexas e Elementos pré-moldados.
			Distância a se percorrida < 5 m. Espaçamento entre armaduras < 80 mm.	
NOTA 1 SR 2 ou um valor-limite mais rigoroso pode ser especificado se a resistência ou a qualidade da superfície for particularmente crítica. NOTA 2 Quando a distância a ser percorrida pelo concreto for maior que 5 m e espaçamento inferior a 80 mm deve ser especificado um valor de SR menor que 10 %.				

Informações sobre concreto auto-adensável são encontrados em:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Concreto auto adensável. NBR 15823 Rio de Janeiro. 2010.
TUTIKIAN, B. ; DAL MOLIN D. Concreto auto adensável. Ed. PINI. São Paul, 2008.
REPETTE, W. Concreto auto adensável. IN: Concreto Ciência e Tecnologia. IBRACON. São Paulo. 2011.

Bibliografia

AMERICAN SOCIETY FOR TESTS AND MATERIALS. ASTM C 125: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates: United States, 2000.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 9: Concreto e argamassa– Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Brasil, 2003.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 33: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Brasil, 1998.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 47: Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. Brasil, 2002.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Brasil, 1998.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 68: Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Brasil, 1983.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Brasil, 2007.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7682: Calda de cimento para injeção – Determinação do índice de fluidez. Brasil, 1983.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Brasil, 2008.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica – Método de ensaio. Brasil, 2013.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Brasil, 2005.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9979: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Brasil, 2012.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Brasil, 2008.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10342: Concreto – Perda de abatimento – Método de ensaio, 2012.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10908: Aditivos para argamassa e concreto – Ensaios de caracterização. Brasil, 2008.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Brasil, 2011.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Brasil, 2009.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12819: Concreto e argamassa – Determinação da elevação adiabática da temperatura – Método de ensaio. Brasil, 2012.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14725: Produtos Químicos–Onformaçõs sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de Informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Brasil, 2012.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900: Água para amassamento do concreto. Brasil, 2009.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15558: Concreto – Determinação da exsudação. Brasil, 2008.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 2 – Determinação do espalhamento e tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Brasil, 2010.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823: Concreto auto-adensável Parte 3 – Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação. Brasil, 2010.
AÏTICIN, P. Cements of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow. Cement and Concrete Research, [S. I.], v. 30, p. 1349-1359, 2000a.
AÏTICIN, P. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo: PINI, 2000b. 667p.
AÏTICIN, P; JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. G. Superplasticizers: how they work and why hey occasionally don't. Concrete International, [S. I.], v. 16, n. 5, p. 45-52, 1994.
JOLICOEUR, C.; SIMARD, M.-A. Chemical Admixture-Cement Interactions: Phenomenology and Physico-chemical Concepts. Cement and Concrete Composites, Great Britain, v. 20, p. 87-101, 1998.
KANTRO, D. L., Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste – A miniature slump test. Cement, Concrete and Aggregates. v. 2, n. 2, 1980. p. 95-102.
MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed., São Paulo: Ibracon, 2008. 674 p.
Portland Cement Association (PCA). Diseño y control de mezclas de concreto. Technical Bulletin, 2003.
RAMACHANDRAN, V. S. Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science, and Technology. 2nd ed. New Jersey: Noyes Publications, 1995. 1153 p.
ACI 305R - Hot Weather Concreting.
ACI 306R - Cold Weather Concreting.